

Trabajo Fin de Grado:

ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD
APLICADA AL DISEÑO DE UNA
EXPOSICIÓN ITINERANTE

SUSTAINABILITY STUDY APPLIED
TO THE DESIGN OF A TRAVELLING
EXHIBITION

> Memoria



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Autor:

Olalla Díez

Director/es:

Anna María Biedermann

Natalia Muñoz Lopez

0 Índice

1. Objetivo	3
2. Metodología	4
3. Planificación	5
4. Fase 1	5
4.1. Objetivos	5
4.2. Alcance	5
5. Caso de estudio	6
5.1. Sistema expositivo actual	6
5.2. Fase 2 - Inventario del sistema expositivo actual	7
5.3. Fase 3 - Evaluación de los impactos del sistema expositivo actual	10
5.4. Requerimientos para el rediseño	10
6. Sistema expositivo rediseñado	11
6.1. Rediseño del sistema expositivo	11
6.2. Fase 2 - Inventario del sistema expositivo rediseñado	12
6.3. Fase 3 - Evaluación de los impactos del sistema expositivo rediseñado	15
7. Fase 4: Comparativa	16
7.1. Ciclo de vida	16
7.2. Implementación	17
7.3. Operativa	18
7.4. Desmantelamiento	19
7.5. Estudio de sensibilidad	20
8. Conclusión	21
9. Bibliografía	22

Resumen

Se ha evaluado la sostenibilidad del ciclo de vida de un Sistema Producto-Servicio que se dedica a la muestra y exposición de cultura. Las dimensiones medioambiental, económica y social se han estimado aplicando una metodología ASCV.

Se ha seleccionado una serie de indicadores para poder estudiar y comparar diferentes sistemas a través de una evaluación cuantitativa de los aspectos medioambientales (GE y GWP₁₀₀), económicos (Costes) y sociales (Tiempo de trabajo y Salario). Estos indicadores han sido obtenidos mediante un estudio detallado y de acuerdo a las actividades llevadas a cabo en el Ciclo de Vida dividido en las etapas de Implementación, Operativa y Desmantelamiento.

Se ha tomado como caso de estudio la Exposición de *"Auschwitz. No hace mucho. No muy lejos."* que utiliza unos sistemas modulares de madera y DM que reemplaza en cada destino de la exposición. Se ha comparado con un sistema expositivo rediseñado realizado en metal que se reutilizará en los destinos.

Los resultados muestran una disminución de los indicadores en el sistema rediseñado del 31,56% en el indicador de GWP₁₀₀, un 15,74% en Costes y un 4,27% en el Tiempo de trabajo, a lo largo de ocho destinos.

El sistema expositivo ha mejorado la sostenibilidad a partir de su tercer uso comparado con el sistema expositivo actual. Conforme se aumenten el número de destinos la diferencia entre ambos sistemas aumenta, mejorando su rentabilidad y disminuyendo sus emisiones; siendo la dimensión medioambiental la más influenciada. El principal factor que influye en su disminución es la materia prima, ya que se reutiliza.

1 Objetivos

La mejora de la sostenibilidad es considerada actualmente como una importante estrategia de innovación no sólo en actividades de producción, sino también en las relacionadas con la prestación de servicios.

Teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del sistema, este trabajo pretende analizar la sostenibilidad de un servicio cultural itinerante que consiste en el desarrollo de una exposición y el acondicionamiento del espacio donde se realiza. A partir de este estudio se planteará la comparativa con otros diseños para detectar potencial de mejora y obtener conclusiones.

El servicio cultural actual reproduce el sistema expositivo en cada destino totalmente de cero y se desecha al final de su periodo, sin tener en cuenta su reutilización en las nuevas localizaciones. Se pretende comparar con otro sistema expositivo donde el material se reutilice en cada destino.

2 Metodología

Para evaluar la sostenibilidad de un servicio cultural, se va a aplicar el marco de trabajo de **Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida (ASCV)**. Combina tres técnicas de evaluación del ciclo de vida:

ACV-M - Análisis del Ciclo de Vida Medioambiental

ACV-C - Análisis del Ciclo de Vida Costes

ACV-S - Análisis del Ciclo de Vida Social

La metodología ASCV se basa en la misma estructura de cuatro fases consideradas en un Análisis del Ciclo de Vida, ACV (ISO 14040, 2006a):



Imagen 1. Las tres dimensiones de la sostenibilidad

Fase 1 Definición del objetivo y el alcance

Establecer la unidad funcional y los límites del sistema.

Fase 2 Análisis de inventario

Recolección de datos, identificando y cuantificando las entradas y salidas en todo el ciclo de vida del sistema expositivo.

CICLO DE VIDA	IMPLEMENTACIÓN	Materia prima que compone el sistema expositivo. Proceso de fabricación para conseguir los sistemas expositivos. Transporte de los materiales al lugar de la exposición. Montaje en sala del sistema expositivo.
	OPERATIVA	Mano de obra contratada para el correcto funcionamiento de la exposición. Maquinaria utilizada para el uso de la exposición Acondicionamiento: iluminación, calefacción y refrigeración.
	DESMANTELAMIENTO	Desmontaje del sistema expositivo. Transporte al punto limpio. Deposición del sistema expositivo por material en el punto limpio.

Fase 3 Evaluación de impactos

Se evalúan los indicadores de cada dimensión

Dimensión medioambiental

GE (MJ): Energía incorporada. Consumo de energía considerando la electricidad y el valor calorífico de los recursos.

GWP₁₀₀ (kg CO₂): Potencial de calentamiento global. Emisiones totales de gases de efecto invernadero calculando el forzamiento radiactivo en un horizonte temporal de 100 años.

Dimensión económica

Costes (€): La suma de todos los costes en el sistema producto-servicio.

Dimensión social

Tiempo de trabajo (h): La suma del tiempo invertido por los trabajadores para desarrollar la actividad.

Salario (€): El sueldo íntegro que reciben los trabajadores involucrados en el desarrollo de la actividad.

Una vez realizada la Fase 2 y Fase 3 del sistema expositivo actual, se determinan los focos de impacto del sistema que deberían ser mejorados para proponer un nuevo sistema producto-servicio. Se volverán a realizar la Fase 2 y Fase 3 del sistema rediseñado para obtener los indicadores.

Fase 4 Interpretación de resultados

Con los valores de impacto de ambos sistemas se compararan para obtener unas conclusiones sobre la sostenibilidad de ambos sistemas.

3 Planificación

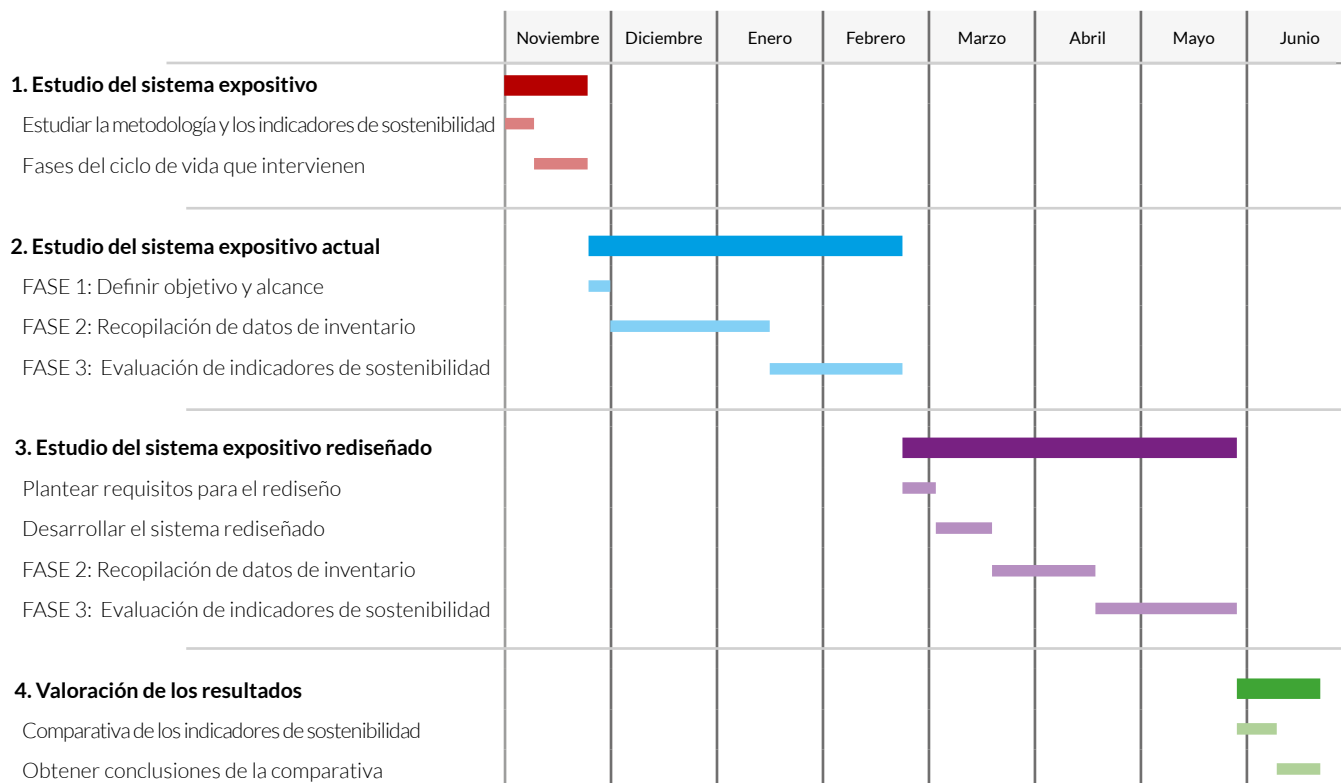


Diagrama 1. Diagrama de Gatnt de la planificación del trabajo

4 Fase 1: Definición

4.1 Objetivo

El objetivo es la cuantificación de impactos medioambientales, económicos y sociales, teniendo en cuenta las actividades y materiales necesarios en el ciclo de vida del servicio dentro del límite de estudio, tomando como caso de estudio la Exposición de "Auschwitz. No hace mucho. No muy lejos."

4.2 Alcance

Los límites del sistema son el ciclo de vida que incluye las etapas de creación, operación y desmantelamiento de los soportes expositivos y el acondicionamiento del suelo para mostrar la exposición durante su viaje por Europa a lo largo de 8 destinos, estando en cada uno de ellos un periodo de 6 meses. No entran dentro de los límites de estudio los artefactos y contenido audiovisual de la exposición.

Para la exposición se ha contado con el espacio expositivo de la Fundación Canal Sala con un espacio útil de 2500 m² adecuadamente acondicionado y preparado para la muestra.

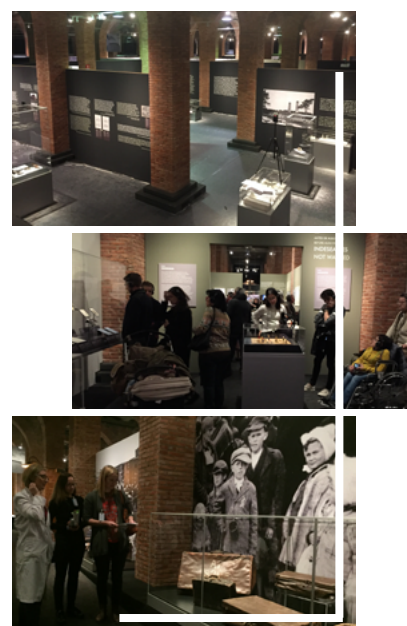


Imagen 2. Exposición "Auschwitz. No hace mucho. No muy lejos" en Madrid

5 Caso de estudio

5.1 Sistema expositivo actual

Para poder acondicionar la localización para crear la exposición de *Auschwitz*, se cuenta con unos sistemas expositivos modulares que dividen la sala para poder crear el recorrido de la exposición y poder colocar los objetos expositivos.

Los módulos de unas dimensiones de 1x3x0,2 m se componen por:

Estructura realizada con listones de madera unidos con tubillones y adhesivo.

Paneles: recubren la estructura con de tableros de DM unidos con tirafondos. En el montaje en sala se le da un acabo de pintura y se le colocan los vinilos para merar su apariencia.

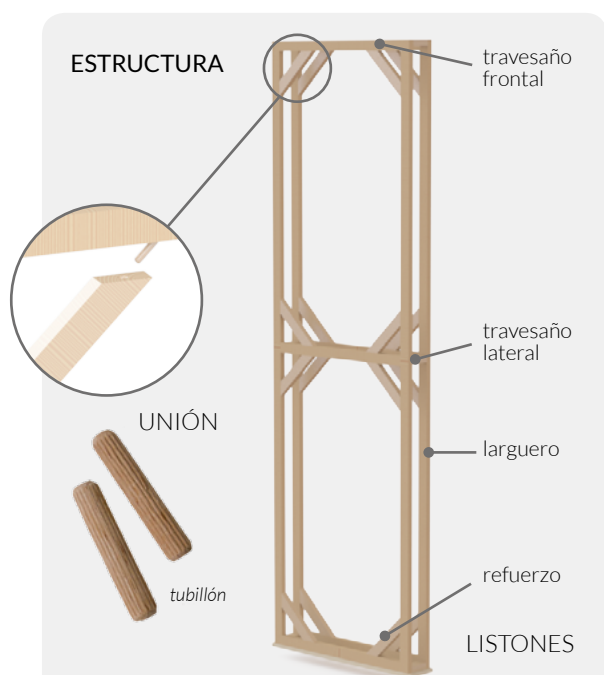


Imagen 3. Estructura del sistema expositivo actual
(Plano ODP_1 Anexo)

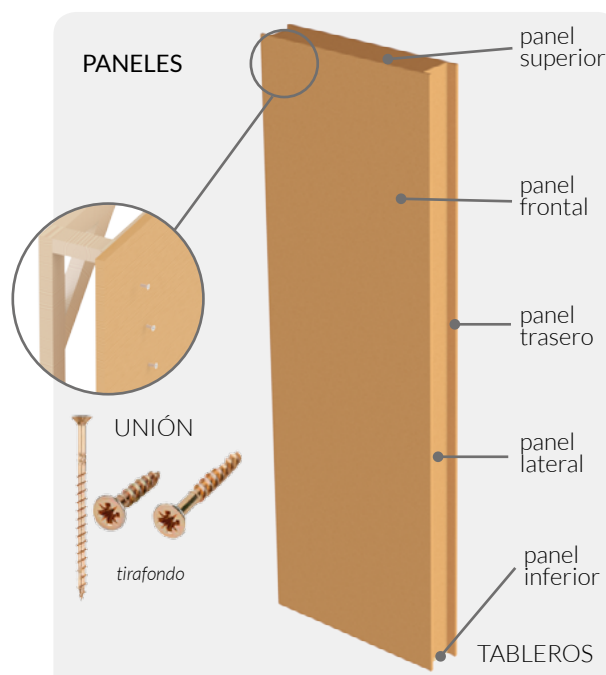


Imagen 4. Paneles del sistema expositivo actual
(Plano ODP_2 Anexo)

UNIÓN ENTRE MÓDULOS

Para unir los módulos entre ellos se coloca dos listones unidos por tirafondos como aparece en la imagen.

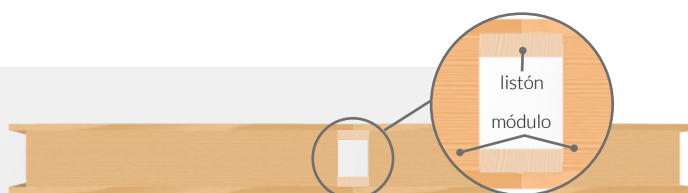


Imagen 5. Unión entre módulos

CICLO DE VIDA

En el sistema actual, los módulos completan un ciclo de vida completo en cada destino, esto significa que en cada destino se tomaba en cuenta su fabricación-montaje, su uso y su desmantelamiento. Esto aparece en la Imagen 6.



1. Implementación

- A1: Materia prima
- A2: Proceso de fabricación
- A3: Transporte a la sala
- A4: Montaje en sala

2. Operativa

- B1: Uso
- B2: Mantenimiento
- B3: Uso de energía

3. Desmantelamiento

- C1: Desmontaje
- C2: Transporte al punto limpio
- C3: Deposition

Imagen 6. Ciclo de vida del sistema expositivo actual

5.2 Fase 2: Inventario de la exposición actual

A continuación se va a comentar el ciclo de vida del sistema expositivo actual según las fases del ciclo de vida expuesto en la metodología. Este ciclo de vida se repite en los 8 destinos.

Implementación

MATERIA PRIMA

El sistema expositivo se compone de **415** módulos realizados en listones y tablones. La estructura se crea con listones unidos por tubillones y adhesivo; y posteriormente se recubre con tablones unidos a la estructura a través de tubillones.

Los módulos una vez montados se les aplica un emplaste para tapar las juntas. Para mejorar el acabado se da una capa de imprimación y dos de pintura por las dos caras de los módulos.

A algunos de estos módulos se le colocan los vinilos. Para facilitar la colocación de los vinilos recortados, estos se colocan en un transportador.

Para cubrir los 2500m² de suelo técnico de la sala expositiva se coloca una moqueta que se fija con un adhesivo de pavimento. La moqueta posee un protector para evitar el daño durante el proceso de montaje y pintado de las paredes. Éste último se retira antes de la inauguración.

Categoría	Elementos	Ud.	Unidades
ESTRUCTURA (madera)	Listón (30 x 50 x 3000 mm)	ud.	2.947
PANEL (mad.)	Tablón (19 x 2100 x 3660 mm)	ud.	479
UNIONES	Tubillones (Ø 10 x 30 mm)	ud.	23.240
	Tirafondos (Ø 3,5 x 35 mm)	ud.	35.654
MOQUETA + protector	Moqueta (500 x 500 x 6 mm)	m ²	2.500
	Protector (500 x 500 x 1 mm)	m ²	2.500
VINILO	Vinilo impreso	m ²	372,87
	Vinilo recortado	m ²	83,73
	Transportador	m ²	83,73
ADHESIVOS	Cola blanca madera	kg	4,47
	Adhesivo pavimento	m ²	2.500
ACABADO	Emplaste	m ²	2.490
	Imprimación	m ²	2.490
	Disolvente	m ²	2.490
	Pintura	m ²	2.490

Tabla 1. Contabilización de la materia prima en el sist. actual

PROCESO DE FABRICACIÓN

Dentro del proceso de fabricación, se va a tener en cuenta la fabricación de dos elementos:

Módulos:

1. Corte, taladro y cantonado de las piezas que lo componen.
2. Unión de los listones con tubillones y cola blanca.
3. Cuando la estructura anterior seca, se le unen los paneles con tirafondos.

Vinilos:

1. Los vinilos se imprimen y se recortan.
2. Se despegan a mano las partes sobrantes del vinilo recortado.
3. El vinilo recortado se coloca sobre el transportador.

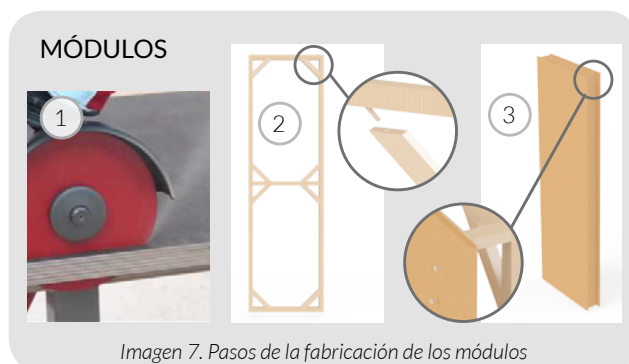


Imagen 7. Pasos de la fabricación de los módulos



Imagen 8. Pasos de la fabricación de los vinilos

MONTAJE EN SALA

Los pasos que se siguen para el montaje en sala son los siguientes:

- 1. Colocación de la moqueta con el plástico protector.
- 2. Distribución y unión de los módulos con la ayuda de listones unidos por tirafondos.
- 3. Emplaste de las uniones de los módulos, tapando las imperfecciones.
- 4. Una capa de imprimación y dos capas de pintura a los paneles de los módulos.
- 5. Colocación de los vinilos recortados con la ayuda del transportador y los vinilos impresos.
- 6. Retirada del protector de la moqueta y limpieza.

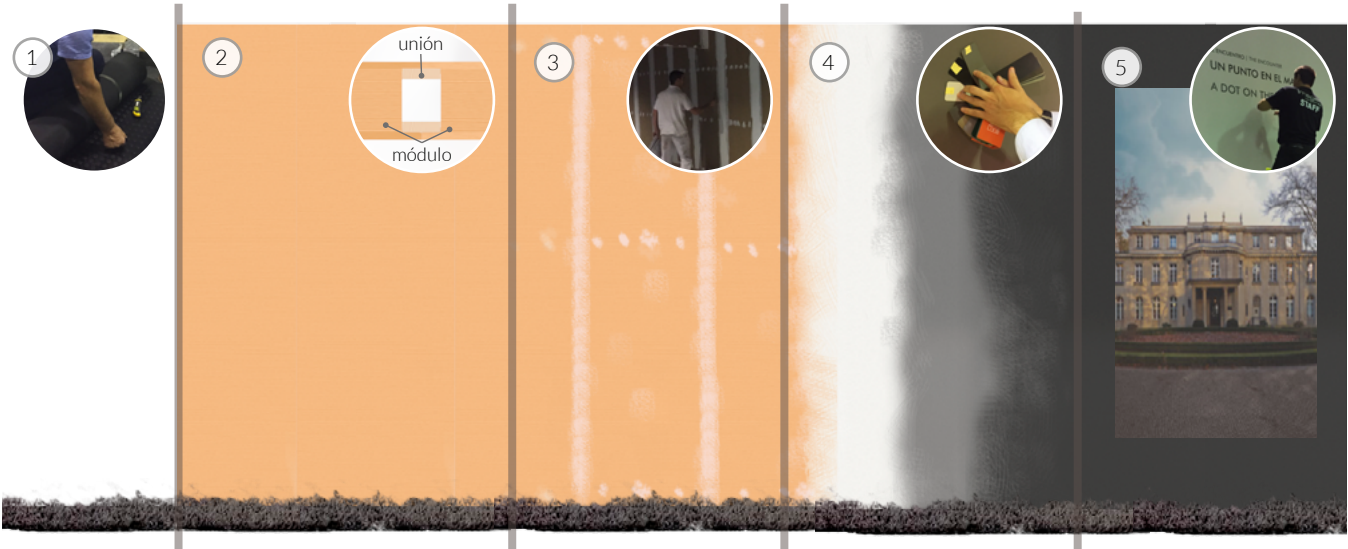


Imagen 9. Pasos del montaje en sala del sistema expositivo actual

Operativa

MANO DE OBRA

Se van a considerar a los trabajadores contratados para el correcto funcionamiento de la exposición, teniendo en cuenta que la exposición esta abierta todos los días durante 6 meses en cada destino.

MAQUINARIA

Las máquinas utilizadas son la aspiradora usada para limpiar la moqueta y los audioguías usados en el recorrido de la exposición.

ACONDICIONAMIENTO

Se incluye la iluminación tomando como referencia que la exposición esta abierta al público durante 11h cada día. La calefacción y refrigeración se calcularán teniendo en cuenta el emplazamiento y el lugar donde se sitúa, Madrid.

Actividad	Turnos	Personas por turno	Horas por turno
Seguridad	3	3	8
Taquilla	2	2	5,5
Limpieza	1	3	3
Atención al público	2	5	5,5
Coordinación	2	1	6
Tienda	2	1	5,5
Guardarropa	2	1	5,5

Tabla 2. Personal destinado a cada tarea en la Operativa

DESMONTAJE

Para poder facilitar el transporte del sistema expositivo al punto limpio, los módulos se fragmentan con la ayuda de palancas. Los módulos no se separan en sus diferentes componentes, solamente se separan sus uniones.

TRANSPORTE

Se va a transportar el sistema expositivo fragmentado de la exposición al punto limpio (distancia de separación 6,6 km). Los módulos se transportan montados, lo que conlleva un mayor volumen de espacio (249m^3). Solamente se utiliza un camión y se toma en cuenta la carga/descarga del camión.

Exposición: Paseo de la Castellana 214 en Madrid.

Punto limpio: Calle de Ubeda, 6, 28034 Madrid.

DEPOSICIÓN

Para la deposición, el volumen de los módulos disminuye, ya que se tiene en cuenta solamente el volumen del material. Se consideran dos materiales:

Madera: $83,21\text{m}^3$ (listones y tableros que componen los módulos).

Plástico: $15,95\text{m}^3$ (moqueta, protector de la moqueta y transportador del vinilo recortado).

5.3 Fase 3: Evaluación de los impactos de la exposición actual

Los indicadores definidos previamente son utilizados para evaluar la sostenibilidad a lo largo de los 8 destinos que viaja la exposición. Los resultados obtenidos de las actividades necesarias en el ciclo de vida del sistema expositivo actual producto-servicio son resumidos en la Tabla 3. Se indican los valores totales.

Un total de 2.065.255,39 kgCO₂-eq y 17.177.128,51 MJ se obtienen en los indicadores de GWP₁₀₀ y GE respectivamente. En la dimensión económica, el Coste es 4.229.090,40€. Además, se obtienen valores de 299.255,10 h y 1.921.073,84 € en los indicadores de Tiempo de trabajo y Salario respectivamente.

			DIMENSIÓN MEDIOAMBIENTAL		DIMENSIÓN ECONÓMICA	DIMENSIÓN SOCIAL	
			GE (MJ)	GWP ₁₀₀ (kg CO ₂)	Coste (€)	Tiempo de trabajo (h)	Salario (€)
IMPLEMENTACIÓN	Materia prima	Estructura (<i>madera</i>)	256.466,80	12.444,56	211.948,24	-	-
		Paneles (<i>madera</i>)	2.625.653,92	127.287,12	280.694,00	-	-
		Uniones	25.245,20	1.682,56	15.993,76	-	-
		Moqueta + protector	5.916.112,00	639.231,20	291.000,00	-	-
		Vinilo	36.026,56	5.590,64	37.676,96	-	-
		Adhesivos	610.139,52	25.670,80	23.383,76	-	-
		Acabado (<i>pintura, masilla</i>)	1.169.399,84	90.795,92	161.750,40	-	-
	Procesos de fabricación	Estructura + paneles	121,45	13,16	5.031,4	292,12	2.239,91
		Vinilos	205,87	22,30	2.081,3	120,54	968,84
	Transporte		8.434,27	592,70	1.574,74	60,27	481,83
	Montaje en sala	Moqueta	-	-	849,25	400,000	3.062,08
		Módulos	10,84	1,18	16.105,96	7.680,000	59.680,00
Pintura		-	-	4.699,18	2.208,000	17.076,40	
Vinilo		-	-	1.163,83	541,040	4.348,32	
TOTAL IMPLEMENTACIÓN			10.709.223,31	907.737,51	1.274.492,40	14.612,46	113.691,44
OPERATIVA	Mano de obra		-	-	2.571.720,00	280.320,00	1.773.600,00
	Maquinaria		25.117,13	2.721,02	830,28	-	-
	Acondicionamiento		6.399.720,00	1.151.600,00	291.014,52	-	-
TOTAL OPERATIVA			6.424.837,13	1.154.321,02	2.863.564,80	280.320,00	1.773.600,00
DESMANTELAMIENTO	Desmontaje		-	-	64.838,40	3.840,00	30.096,00
	Transporte		42.975,41	3.185,04	13.467,12	482,64	3.686,40
	Deposición		92,66	11,82	12.727,68	-	-
TOTAL DESMANTELAMIENTO			43.068,07	3.196,86	91.033,20	4.322,64	33.782,40
TOTAL CASO DE ESTUDIO			17.177.128,51	2.065.255,39	4.229.090,40	299.255,10	1.921.073,84

Tabla 3. Indicadores obtenidos para cada dimensión de la sostenibilidad en el sistema expositivo actual durante 8 destinos

5.4 Requerimientos para el rediseño

El objetivo que se pretende con el rediseño, es desarrollar un sistema expositivo **reutilizable** en los diferentes destinos, para ello el principal requerimiento es que sea desmontable. Tendiendo esto en cuenta, los requisitos son:

Ocultar la estructura a la vista del visitante y dar a la pared una ilusión de continuidad, es decir, que no se perciba que son módulos separados.

Los módulos deben ser de un material metálico por sus propiedades, alargando la vida útil del sistema. La estructura debe permitir colgar elementos sobre ella (artefactos y contenido audiovisual de la exposición). Utilizar el menor número de piezas posibles y que sean normalizadas para abaratar los costes y sean fácilmente reemplazables. Se debe facilitar su montaje/desmontaje del sistema con la selección de uniones rápidas, agilizando este paso; y desmontado debe ser compacto, ocupando poco espacio para facilitar su transporte, necesitando menos camiones para ello.

La fase Operativa de su ciclo de vida depende del edificio donde se situó la exposición, siendo este un factor que no podemos influenciar, por lo que uno de los requisitos es no modificar la Operativa en el nuevo sistema, impidiendo que los indicadores de sostenibilidad aumenten.

6 Sistema expositivo rediseñado

6.1 Rediseño del sistema expositivo

El rediseño del sistema consiste en un módulo de 3x3x0,2 m compuesto por dos partes:

- **Estructura** realizada con perfiles normalizados de aluminio anodizado.
- **Paneles** que recubren la estructura, realizados en tela de poliéster con una guía de silicona en su contorno que se engancha en el perfil de la estructura. Este panel realizará el papel de pared y llevará impreso los vinilos del anterior sistema.

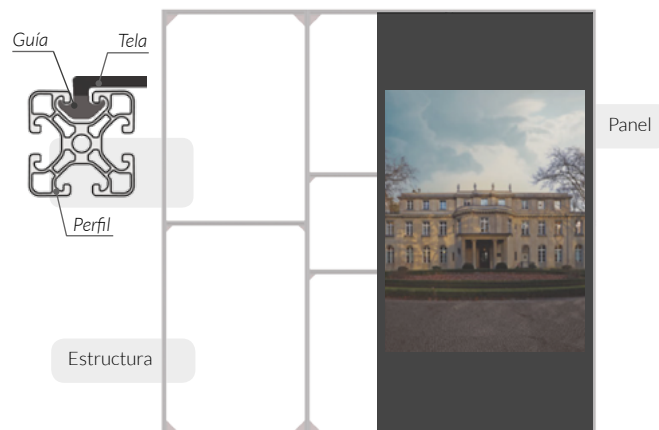


Imagen 10. Sistema modular rediseñado (Plano ODP_3 Anexo)

ESTRUCTURA

La **estructura** está compuesta por un perfil normalizado de 40x40 mm de tres diferentes longitudes (3000-950-120 mm). Como en los módulos se pueden colgar diferentes elementos, se ha dispuesto el módulo de tres diferentes disposiciones:

- 1: Un perfil frontal en medio de la altura
- 2: Dos perfiles frontales
- 3: Sustituir el perfil por una placa perforada

Para unir los perfiles se han utilizado escuadras y para unir las placas al perfil, ángulos. Las uniones son provistas por el comerciante ya montadas con los tornillos y las tuercas para facilitar el montaje de los módulos.

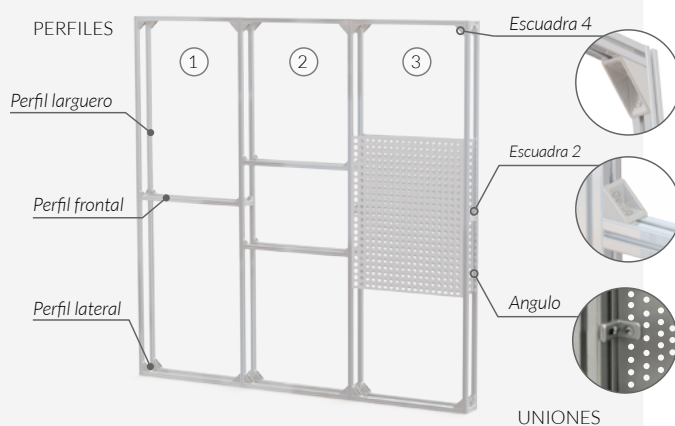


Imagen 11. Estructura del sistema modular rediseñado

CICLO DE VIDA

Con el rediseño de los módulos del sistema expositivo, ya no se realiza un ciclo completo en cada destino como aparece en la Imagen 12. Esto es posible ya que los módulos se fabrican en el primer destino y se desecha en el último destino.



Imagen 12. Ciclo de vida del sistema expositivo rediseñado para 8 destinos

Ciclo de vida:

1. Implementación

- A1: Materia prima
- A2: Proceso de fabricación
- A3: Transporte a la sala
- A4: Montaje en sala

2. Operativa

- B1: Uso
- B2: Mantenimiento
- B3: Uso de energía

3. Desmantelamiento

- C1: Desmontaje
- C2: Transporte al punto limpio
- C3: Deposición

6.2 Fase 2: Inventario de la exposición rediseñada

A continuación se va a comentar el ciclo de vida del sistema expositivo rediseñado según las fases comentadas en la metodología. Como el ciclo de vida es diferente según el destino, se mencionara las diferencias entre ellos.

Implementación

MATERIA PRIMA

Primer destino (1):

El sistema expositivo se compone de 138 módulos de 3x3x0.2m cada uno. Las piezas que lo componen el sistema expositivo aparecen en la Tabla 4. La estructura se crea con perfiles unidos por escuadras y ángulos montados con llaves de carraca. Para posibilitar colgar los distintos elementos se cuenta con diferentes disposiciones de perfiles o el uso de placas perforadas.

Para cubrir los 2500m² de suelo técnico de la sala expositiva se coloca una *moqueta* sin protector porque no se pintarán las paredes y todo el montaje se realizará en seco. La moqueta se fija con un *adhesivo* de pavimento.

Categoría	Elementos	Código del proveedor	Ud.	Unidades
ESTRUCTURA (metal)	Perfil larguero (40x40x3000mm)	001 0.0.452.791	und	1.104
	Perfil trav. frontal (40x40x950 mm)	001 0.0.452.791	und	2.484
	Perfil trav. lateral (40 x 40 x 120 mm)	001 0.0.452.791	und	1.656
	Placa (1200 x 960 x 3 mm)	010 0.0.428.24	und	276
UNIONES	Kit escuadra 2: 1 x escuadra - 2 x tornillos - 2 x tuercas	006 0.0.642.54	und	4.968
	Kit escuadra 4: 1 x escuadra - 4 x tornillos - 4 x tuercas	007 0.0.642.56	und	3.312
	Angulo: 1 x escuadra - 2 x tornillos - 2 x tuercas	008 0.0.486.29	und	1.104
PANELES (tela)	Tela		m ²	2.490
	Guía		m	3.320
	Tinta		l	8,64
MOQUETA	Moqueta (500 x 500 x 6 mm)		m ²	2.500
ADHESIVOS	Adhesivo pavimento		m ²	2.500

Tabla 4. Unidades de materia prima en el primer destino

Destinos secundarios (2 - 8):

En los siguientes destinos se va a sustituir la materia prima de la moqueta y los paneles que contienen el texto (10% de todos los paneles) ya que se reemplazan en cada destino.

Se corresponde a la tabla 5.

Categoría	Elementos	Ud.	Unidades
PANELES (tela)	Tela	m ²	2490
	Guía	m	336
	Tinta	l	8,64
MOQUETA	Moqueta (500 x 500 x 6 mm)	m ²	2.500
ADHESIVOS	Adhesivo pavimento	m ²	2.500

Tabla 5. Unidades de materia prima en los destinos secundarios

PROCESO DE FABRICACIÓN

Dentro del proceso de fabricación, se va a tener en cuenta la fabricación de los paneles (tela).

Los pasos para su fabricación son:

1. Impresión de la tela.
2. Cosido de la guía a los extremos de la tela.

PANELES

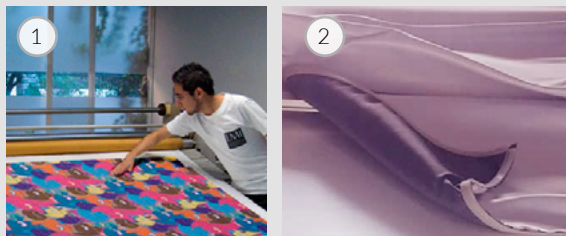


Imagen 13. Pasos de la fabricación de los paneles

Primer destino (1):

En el primer destino se tiene en cuenta el proceso de fabricación de todos los paneles.

Destinos secundarios (2 - 8):

En los destinos secundarios se va a sustituir los paneles que contiene el texto ya que estos se reemplazan en cada destino. El proceso de fabricación en los secundarios solo cambia los metros de panel.

TRANSPORTE

Primer destino (1):

Se va a transportar la materia prima del almacén del proveedor a la exposición (distancia de separación 345 km). Se toma en cuenta la carga/descarga del camión y se va a utilizar el mismo camión que en el estudio anterior para unificar datos.

Almacén: Calle Diamante 30, La Fraila 1 en Fuenlabrada

Exposición: Paseo de la Castellana 214 en Madrid

Destinos secundarios (2 - 8):

En los destinos secundarios se va a tener en cuenta el transporte entre las distintas localizaciones de las exposiciones. Para el cálculo se va a tomar la distancia media entre todos los destinos (578,14 km).

MONTAJE EN SALA

El montaje en sala no varía entre los distintos destinos. Los pasos que se siguen para el montaje en sala es el siguiente:

1. Colocación de la moqueta con el adhesivo de pavimento.
2. Distribución y montaje de la estructura compuesta de perfiles y uniones rápidas.
3. Colocación de los paneles introduciendo las guías de los extremos de la tela en las ranuras de los perfiles de la estructura y tensando la tela.

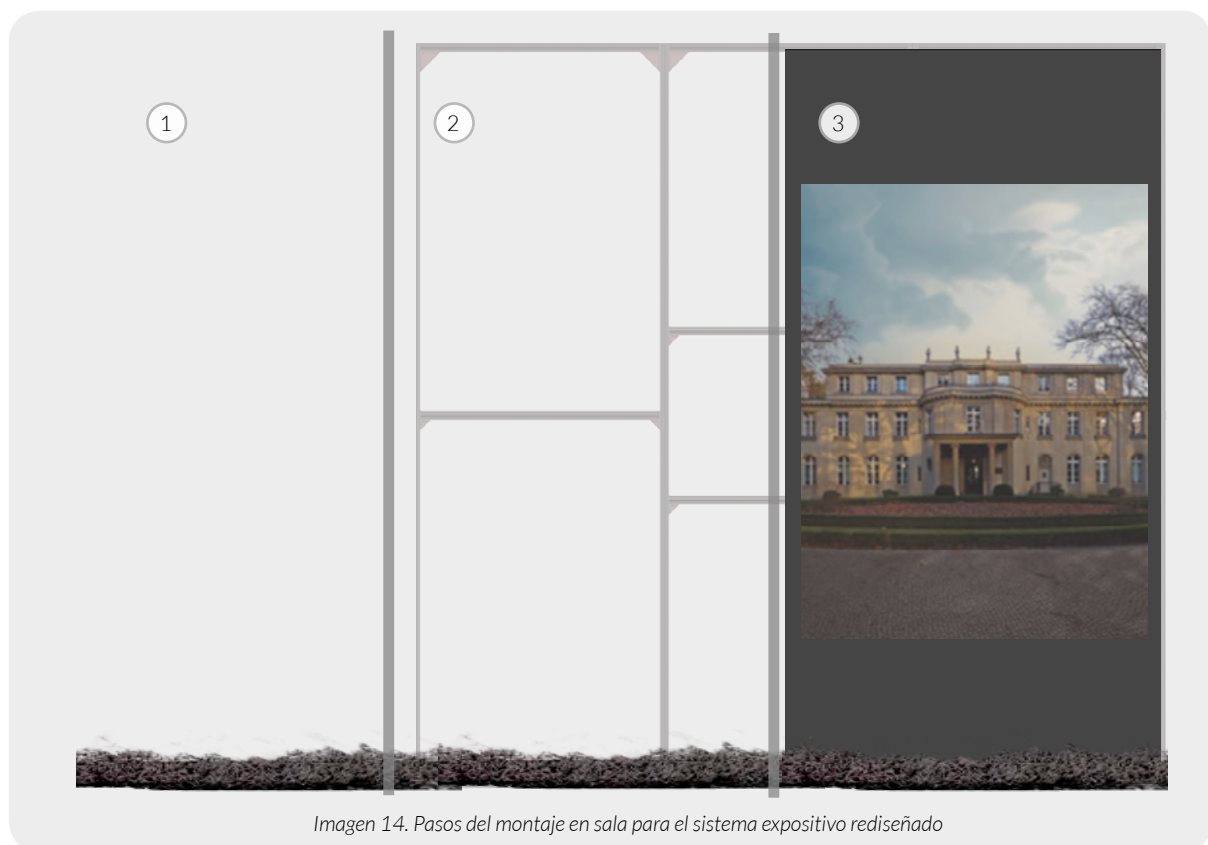


Imagen 14. Pasos del montaje en sala para el sistema expositivo rediseñado

Operativa

La Fase Operativa no se modifica, esto es debido a que una de las condiciones del nuevo sistema consiste en que no se modifique esta fase. No se cambia la Operativa ya que depende de la localización donde se situó la exposición; por lo que tenemos que centrarnos en las otras fases.

DESMONTAJE

Se desmonta toda la exposición para poder transportar la exposición al nuevo destino y para facilitar el transporte al punto limpio de la parte correspondiente.

El desmontaje no se modifica entre los distintos destinos, ya que hace falta un desmontaje completo tanto para trasladar a otra localización, como para llevarla al punto limpio.

TRANSPORTE

Se va a transportar la parte correspondiente del sistema expositivo al punto limpio (distancia de separación 6,6 km). Solamente se utiliza un camión y se toma en cuenta la carga/descarga del camión.

Exposición: Paseo de la Castellana 214 en Madrid.

Punto limpio: Calle de Ubeda, 6, 28034 Madrid.

Destinos secundarios (1 - 7):

En los destinos se lleva al punto limpio los materiales que se van a sustituir en cada destino (moqueta + paneles texto).

Último destino (8):

En el último destino se va a trasladar al punto limpio el completo de la exposición para terminar con su ciclo de vida.

DEPOSICIÓN

Destinos secundarios (1 - 7):

En los destinos secundarios se va a reciclar la materia prima que se sustituye en cada destino. La cantidad de material que se recicla en cada destino es:

Plástico: 15,38m³ (moqueta, 10% de los paneles).

Último destino (8):

Se va reciclar el completo del sistema expositivo dividido en dos materiales:

Metal: 12,43m³ (estructura y uniones).

Plástico: 18,84m³ (moqueta, tela y guía).

6.3 Fase 3: Evaluación de los impactos de la exposición rediseñada

Los indicadores definidos previamente son utilizados para evaluar la sostenibilidad a lo largo de los 8 destinos que viaja la exposición. Los resultados obtenidos de las actividades necesarias en el ciclo de vida del sistema expositivo rediseñado producto-servicio son resumidos en la Tabla 6. Se indican los valores totales.

Un total de 1.413.307,60 kgCO₂ y 11.071.792,13 MJ se obtienen en los indicadores de GWP₁₀₀ y GE respectivamente. En la dimensión económica, el Coste es 3.591.229,85€. Además, se obtienen valores de 286.488,20h y 1.807.018,78€ en los indicadores de Tiempo de trabajo y Salario respectivamente.

			DIMENSIÓN MEDIOAMBIENTAL		DIMENSIÓN ECONÓMICA	DIMENSIÓN SOCIAL	
			GE (MJ)	GWP ₁₀₀ (kg CO ₂)	Coste (€)	Tiempo de trabajo (h)	Salario (€)
IMPLEMENTACIÓN	Materia prima	Estructura (metal)	621.758,95	43.346,01	107.107,32	-	-
		Uniones	18.432,82	1.484,46	80.603,04	-	-
		Paneles (tela)	70.630,36	6.078,46	107.631,37	-	-
		Moqueta	3.099.600,00	166.320,00	286.000,00	-	-
		Adhesivos	608.820,00	25.600,00	23.200,00	-	-
	Procesos de fabricación	Paneles	247,83	26,85	1.891,95	110,84	875,99
	Transporte		218.811,32	15.376,59	28.165,37	317,49	2.552,47
	Montaje en sala	Moqueta	-	-	6.794,00	400,00	3.102,88
		Estructura	-	-	31.562,48	1.881,36	14.619,52
		Paneles	-	-	9.522,88	553,36	4.447,44
TOTAL IMPLEMENTACIÓN			4.638.301,27	258.232,37	682.407,74	3.193,20	25.035,37
OPERATIVA	Mano de obra		-	-	2.571.720,00	280.320,00	1.773.600,00
	Maquinaria		25.117,13	2.721,02	830,28	-	-
	Acondicionamiento		6.399.720,00	1.151.600,00	291.014,52	-	-
TOTAL OPERATIVA			6.424.837,13	1.154.321,02	2.863.564,80	280.320,00	1.773.600,00
DESMANTELAMIENTO	Desmontaje		-	-	47.056,48	2.787,20	7.638,96
	Transporte		5.491,92	406,90	877,14	117,96	181,52
	Deposición		3.161,81	347,31	- 2.676,31	-	-
TOTAL DESMANTELAMIENTO			8.653,73	754,21	45.257,31	2.905,16	7.820,48
TOTAL REDISEÑO			11.071.792,13	1.413.307,60	3.591.229,85	286.488,20	1.807.018,78

Tabla 6. Indicadores obtenidos para cada dimensión de la sostenibilidad en el sistema expositivo rediseñado durante 8 destinos

7 Fase 4: Comparación

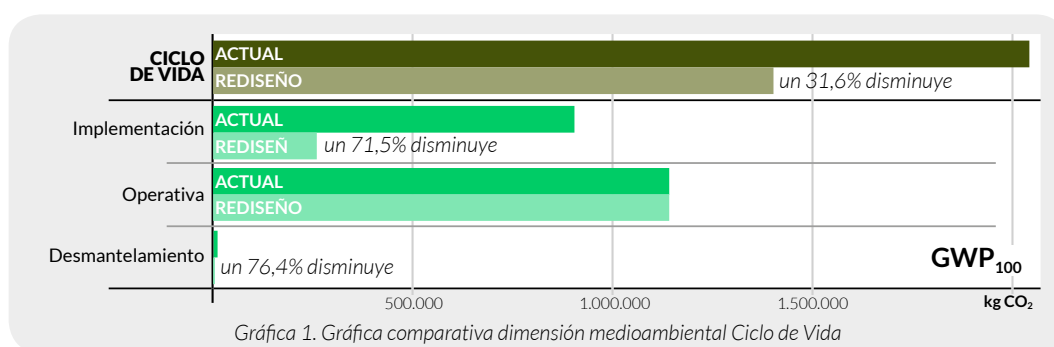
7.1 Ciclo de vida

Después de obtener los indicadores de sostenibilidad de los dos sistemas, se procede a su comparación con la ayuda de unas gráficas comparativas donde aparecen los datos de los dos sistemas.

Como se observa, en los dos sistemas la fase **Operativa** es la que más influye en los indicadores, pero con el rediseño del sistema se ha conseguido reducir los indicadores de las otras dos fases (Implementación y Desmantelamiento).

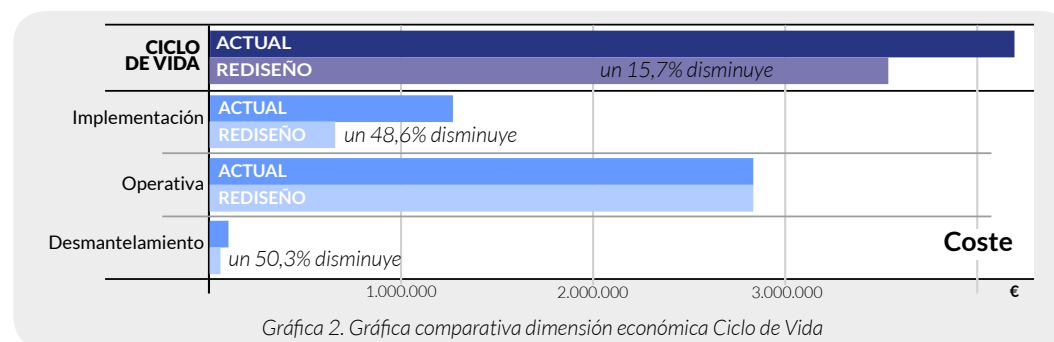
Dimensión medioambiental

En la dimensión medioambiental, se va a tomar como referencia el Potencial de calentamiento global (GWP_{100}). La dimensión medioambiental es la que más ha reducido su valor (31,6 %). Esto es gracias a que la fase Implementación se ha reducido un 71,5% en comparación con el sistema actual.



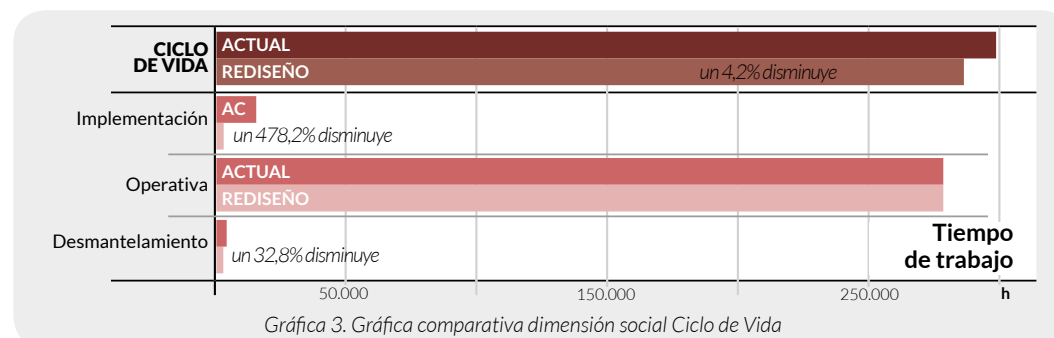
Dimensión económica

La dimensión económica ha disminuido un 15,7%. La Implementación se ha reducido un 48,6% y el Desmantelamiento se ha reducido un 50,3%. En las siguientes gráficas comparativas se analizara a que se debe esta disminución.



Dimensión social

En la dimensión social, se va a tomar como referencia el Tiempo de trabajo. La dimensión social no se ha reducido demasiado (4,2%), porque depende casi exclusivamente de la fase Operativa, fase que no modificamos con el rediseño, ya que depende del lugar donde se situó la exposición.



7.2 Implementación

A continuación se va a estudiar los indicadores de sostenibilidad de la fase Implementación.

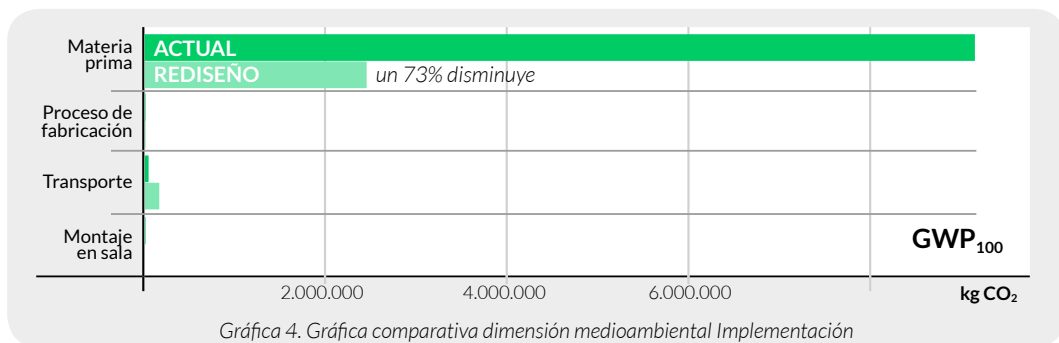
La reducción de los indicadores de la fase de Implementación en el rediseño se debe a la **Materia prima**, disminuyendo un 30% la dimensión económica y un 73% la dimensión medioambiental. Aunque los módulos actuales realizados en madera y DM son más baratos y emiten menos CO₂ que los módulos rediseñados de metal, al no reutilizarlos, los indicadores se multiplican por cada destino.

En el **Proceso de fabricación** los valores se han reducido considerablemente. Esto se debe a que en el sistema actual se tiene en cuenta la fabricación y montaje de la estructura y los paneles, mientras en el rediseño solo se tiene en cuenta la fabricación de los paneles.

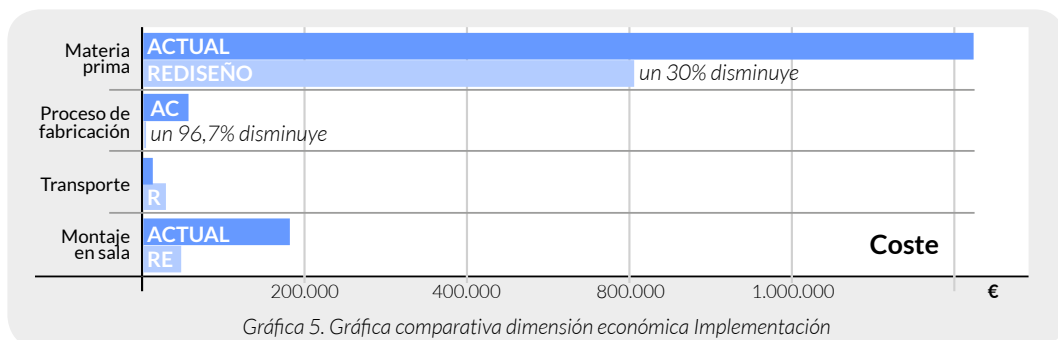
El **Transporte** es la fase más llamativa, ya que los valores del actual y el rediseñado no sufren grandes cambios. Aunque en el rediseño se transporta el sistema entre las diferentes localidades de la exposición (siendo mayor los km de distancia), al ser muy compacto desmontado se reduce los viajes/número de camiones. En el actual, se transporta los módulos montados de la carpintería a la exposición; los módulos montados ocupan mucho volumen, lo que genera que se tengan que realizar muchos viajes.

El tiempo de **Montaje en sala** se ha disminuido un 74%, porque aunque en el sistema actual los módulos ya vienen montados, hay que acondicionarlos con la pintura y los vinilos; tiempo que se reduce en el rediseño con los paneles en forma de tela. Repercute reduciendo el coste un 96,7% y eliminando su impacto medioambiental.

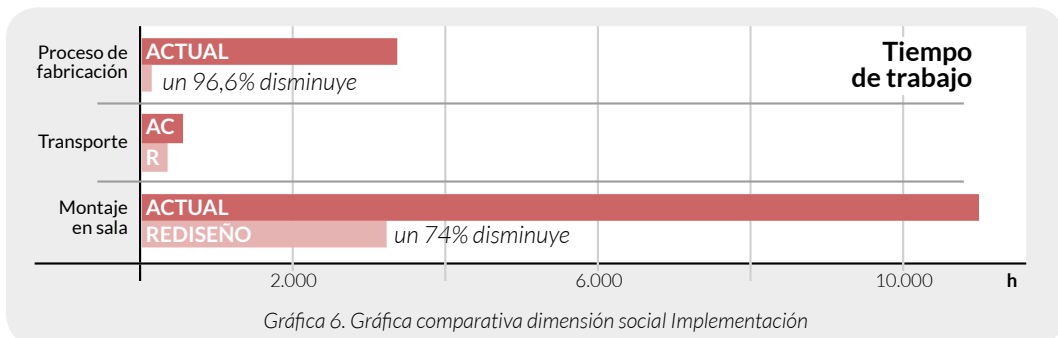
Dimensión medioambiental



Dimensión económica



Dimensión social



7.3 Operativa

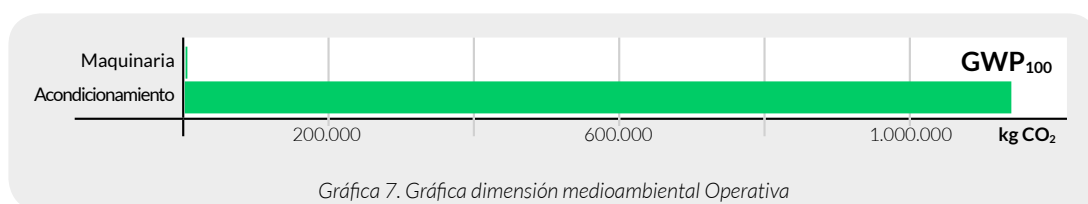
Aunque la fase Operativa no se modifica con el rediseño, obteniendo unos valores de los indicadores de sostenibilidad iguales, vamos a estudiarla para descubrir las causas.

La **Mano de obra** depende de los trabajadores encargados de la exposición cuando esta abierta al público. Es la fase que más influye en la dimensión económica y social. Esta fase se puede reducir disminuyendo el número de horas que esta abierta la exposición al público.

La **Maquinaria** utilizada es una fase irrelevante por sus reducidos valores de los indicadores de sostenibilidad.

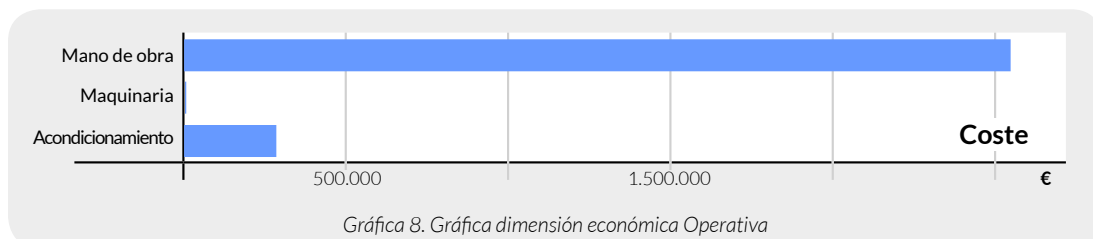
El **Acondicionamiento** depende de la iluminación, calefacción y refrigeración del espacio donde se situó la exposición. Es el valor más destacado en la dimensión medioambiental. Este valor se puede reducir mejorando el aislamiento.

Dimensión medioambiental



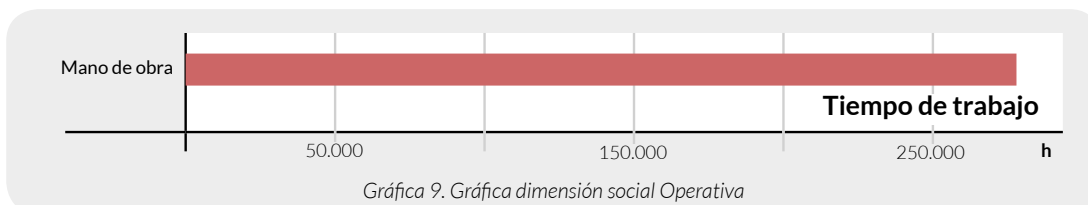
Gráfica 7. Gráfica dimensión medioambiental Operativa

Dimensión económica



Gráfica 8. Gráfica dimensión económica Operativa

Dimensión social



Gráfica 9. Gráfica dimensión social Operativa

7.4 Desmantelamiento

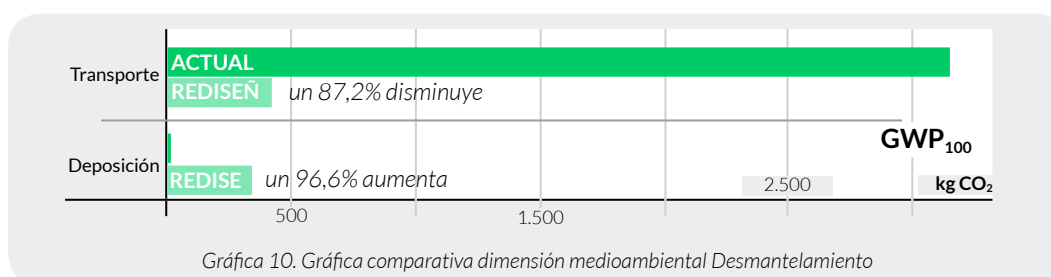
Se va a descomponer los indicadores de sostenibilidad de Desmantelamiento entre sus fases para poder explicar el porqué de su reducción.

El **Transporte** reduce su emisión un 87% y su coste un 93,5%, porque solo se transporta al punto limpio un porcentaje reducido (moqueta + 10% paneles) en cada destino, lo que se sustituye de materia prima. Unicamente en el último destino se transporta al punto limpio el completo de la exposición. También está influenciado con que en el sistema actual se transportaban los módulos montados, ocupando más volumen.

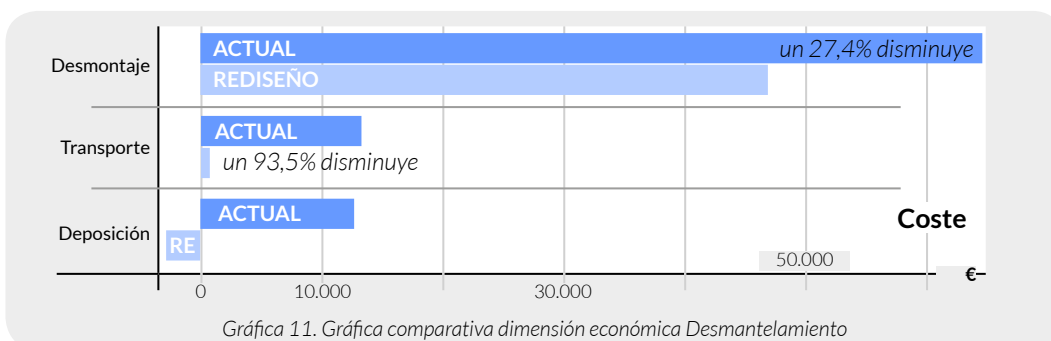
La fase de **Deposición** es la que más resalta. Es el único indicador económico que es negativo, ya que los módulos rediseñados, al ser metálicos, en vez de pagar por su deposición, te dan dinero. Pero su emisión es mayor, aumentado un 96% su indicador medioambiental.

Dimensión medioambiental

En la dimensión ambiental, aunque la deposición aumenta, se contrarresta con la disminución del transporte, dando un valor 76,4% menor al actual.

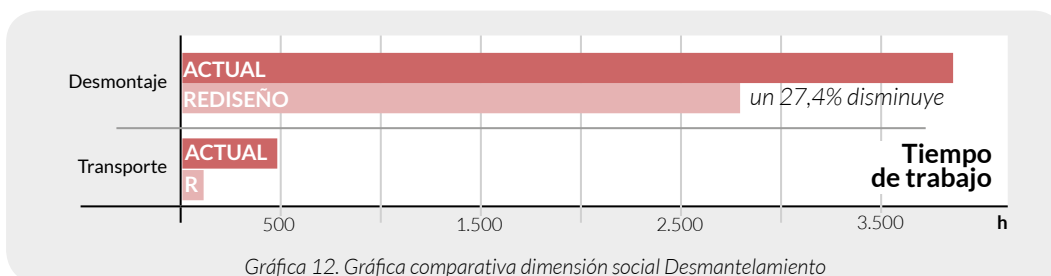


Dimensión económica



Dimensión social

En la dimensión social, la reducción se debe al **Desmontaje**, con un 27% de disminución. Aunque en todos los destinos, con el sistema rediseñado, no se realiza un desmantelamiento completo de la exposición, hace falta desmontarla por completo para poder transportarla al siguiente destino, por eso la reducción del tiempo no es tan significativa.



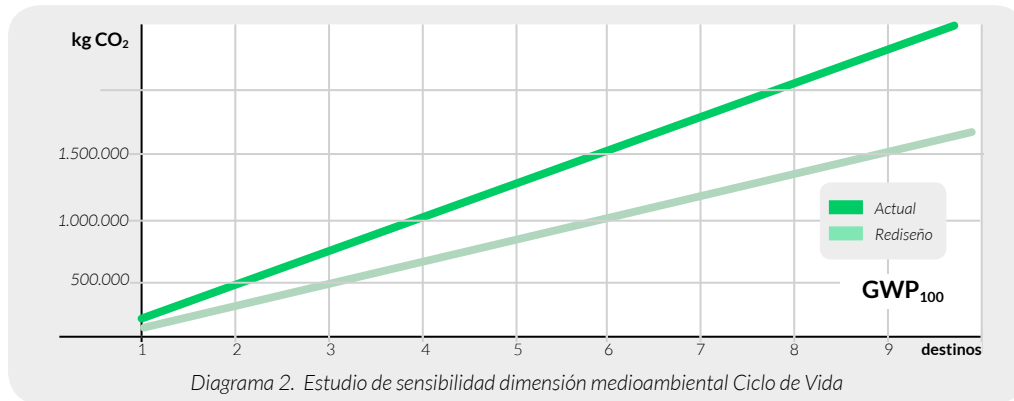
Hasta que punto es mejor aumentar los indicadores de sostenibilidad en la fase de Desmontaje para reducir el volumen de los módulos del sistema actual y así poder reducir los trayectos, posibilitando la disminución de los indicadores en la fase de Transporte.

7.5 Estudio de sensibilidad

Con los datos obtenidos se va a realizar un estudio de sensibilidad de los indicadores de sostenibilidad según el número de destinos que realiza la exposición, tomando los datos totales del ciclo de vida.

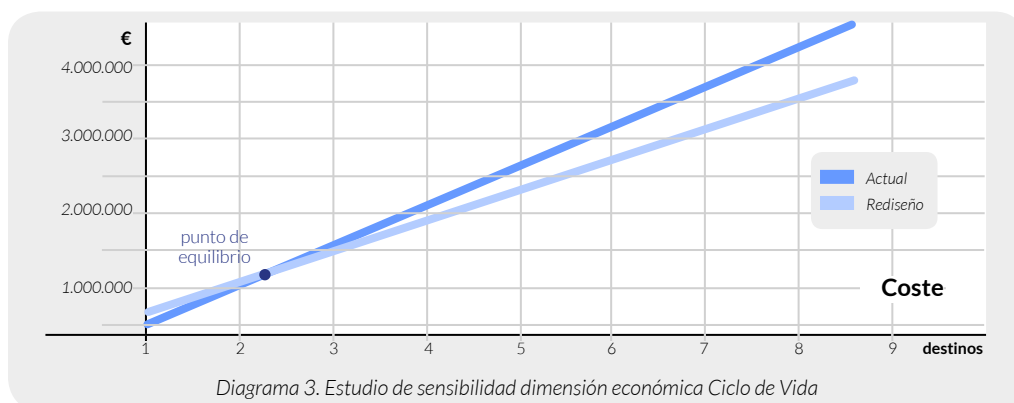
Dimensión medioambiental

En la dimensión medioambiental realizando un único destino el indicador del rediseño es ya menor, pero sin mucha diferencia. Conforme el número de destinos aumente, la diferencia es más grande. Este indicador es el más influenciado con el aumento de destinos.



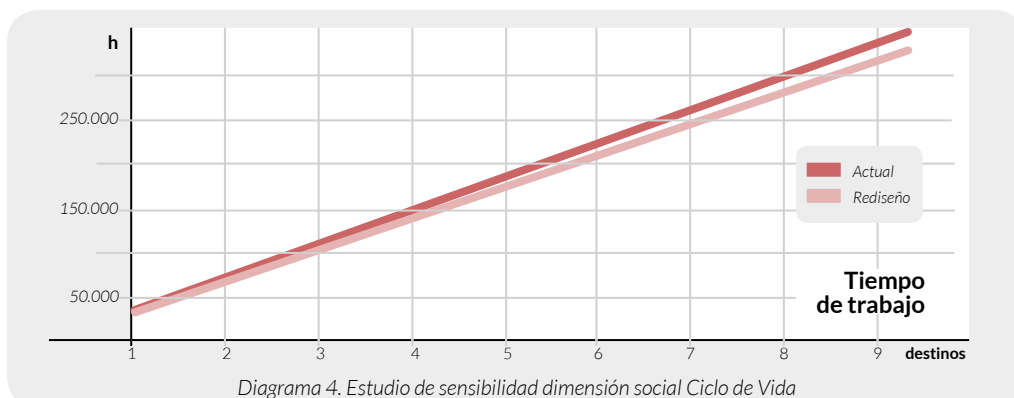
Dimensión económica

En la dimensión económica, el indicador del sistema rediseñado es mayor, por lo que es mejor opción el sistema actual. El punto de equilibrio se encuentra en el 2,3 destinos, por lo que, a partir de **3 destinos**, sale más rentable el sistema rediseñado. Conforme se aumenten el número de destinos, el sistema rediseñado es más ventajoso.



Dimensión social

En la dimensión social, pasa lo mismo que en la dimensión medioambiental, desde un único destino el indicador del sistema rediseñado es menor. Conforme se aumentan el número de destinos esta reducción aumenta, pero no es una reducción muy significativa.



8 Conclusión

En este trabajo se ha evaluado la sostenibilidad del ciclo de vida de un Sistema Producto-Servicio que se dedica a la muestra y exposición de cultura. Las dimensiones medioambiental, económica y social se han evaluado aplicando una metodología ASCV.

Una serie de indicadores se han seleccionado para poder estudiar y comparar diferentes sistemas a través de una evaluación cuantitativa de los aspectos medioambientales y económicos y sociales. Estos indicadores han sido obtenidos mediante un estudio detallado y de acuerdo a las actividades llevadas a cabo en la etapa de Implementación, Operativa y Desmantelamiento.

Los resultados muestran una disminución del impacto en la sostenibilidad en el sistema rediseñado del 31,56% en la dimensión medioambiental, un 15,74% en la dimensión económica y un 4,27% en la dimensión social, a lo largo de ocho destinos.

En la Implementación, la reutilización de los materiales supone una reducción del 73% la dimensión medioambiental y del 30% la dimensión económica. Aunque se tiene que transportar los materiales entre los diferentes destinos, al ser el sistema rediseñado desmontado muy compacto, los indicadores no suponen grandes cambios en comparación al actual.

La Operativa es la fase que más influye en el Ciclo de vida, pero se podría reducir disminuyendo las horas de apertura de la exposición y mejorando el aislamiento del espacio.

En el Desmantelamiento, la dimensión ambiental se reduce, aunque la deposición de los materiales en el punto limpio aumente su indicador en comparación al sistema actual, se contrarresta con el transporte, dando un valor 76,4% menor al actual.

El Sistema Expositivo rediseñado que reutiliza el material en los diferentes destinos tiene unos valores de los indicadores más bajos a partir de tres destinos. Conforme se aumenten el número de destinos la diferencia entre ambos sistemas aumenta, mejorando su rentabilidad y disminuyendo sus emisiones; siendo la dimensión medioambiental la más influenciada.

9 Bibliografía

ARTÍCULOS, PDFs:

- Finkbeiner, M., Schau, E.M., Lehmann, A. & Traverso, M. (2010) Towards life cycle sustainability assessment. Sustainability 2, 3309 – 3322.
- Kloepffer, W. (2008) Life cycle sustainability assessment of products (with comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). Int J Life Cycle Assess 13:2, 89-95.
- Sousa-Zomer, T.T. & Cauchick, P.A. (2018) Sustainable business models as an innovation strategy in the water sector: An empirical investigation of a sustainable product-service system. J Clean Prod 171, 119-129.
- Doualle, B., Medini, K., Boucher, X., Brissaud, D. & Laforest, V. (2020) Selection method of sustainable product-service system scenarios to support decision-making during early design stages. International Journal of Sustainable Engineering, 13 (1), 1-16.
- Tesis Doctoral: “Sistema de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación residencial. Buenas prácticas en la ejecución de obra. Madrid.”, Paola Villoria Sáez, 2014.
- Trabajo Fin de Grado: “Estrategias de sostenibilidad aplicadas al mobiliario en una tienda de ropa “, Javier Molina Sánchez, 2019
- Trabajo Fin de Grado: “Diseño y desarrollo de un sistema distribuidor de espacios para exposiciones itinerantes”, Marina Rodríguez Turón y María Ruiz Cozcolluela, 2019

PROGRAMAS:

- Programa CYPE Ingenieros y realizado con Arquímedes v2020: <http://www.cype.es/cypeingenieros/>
- Programa CEX v2.3: <https://www.efinova.es/CE3X>

MAQUINAS / HERRAMIENTAS:

- Impresora: TX300P-1800: <https://www.mimaki.es/products/impresoras-textiles/tx300p-1800/> (Abril 2020)
- Autómata de puente BROTHER BAS-360H: <https://brotherie.es/producto/automata-de-puente-brother-bas-360h/> (Abril 2020)
- Impresora SWJ-320: <https://www.mimaki.es/products/impresoras-solvent/swj-320/> (Diciembre 2019)
- Impresora CG-FXIIplus: <https://www.mimaki.es/products/plotters-de-corte/cg-fxiiplus/> (Diciembre 2019)
- Sicar G3S 2600: *Sicar G3S 2600: Sicar G3S 1500-2600 Classic line Manual*, Longkou Leader Machinery Manufacture CO.,LTD. ©2016. (Diciembre 2019)
- Optimum B25: Manual de instrucciones Edición 1.5.1,09/2013, Kilian Stürmer, Optimun Maschinen: <https://www.herraiz.com/uploads/productos/4193/taladro-de-sobremesa-aslak-optimum-b-13-monofasico-300-w-ref-3008131-0.pdf> (Diciembre 2019)
- Cehisa Compact S: Cehisa chapeadoras, Ctra. C-59, Km 17,2 E-08140 Caldes de Montbui, Barcelona: <http://www.cehisa.es/es/chapeadoras/16-chapeadora-compact-s-cehisa.html> (Diciembre 2019)
- GSR 12V-15: Especificaciones técnicas 20/06/2020: <https://www.bosch-professional.com/es/es/pdf/productdata/gsr-12v-15-sheet.pdf> (Diciembre 2019)
- Aspiradora industrial mod. SWL700 ET: Manual de instrucciones Edición 2016/42: <https://es.calameo.com/read/0030804225d8efabbc48b>
- Audioguía “Orpheo TG”: <https://orpheogroup.com/es/productos/audifono/orpheo-tg-systeme-radio-groupe-audiophone/> (Enero 2019)

MATERIA PRIMA:

Tableros DM: <https://maderasdanielfuster.com/wp-content/uploads/2015/11/Catalogo-Maderas-Fuster-Tableros-DM-.pdf> (Diciembre 2019)

Tubillones: https://www.leroymerlin.es/fp/12228825/espiga-de-fijacion-wolcraft.herramientas_accesorios-de-herramientas_tubillones-y-espigas (Diciembre 2019)

Tirafondos: <https://www.indexfix.com/producto/11093-TEX-BP-bicromatado-huella-pz> (Diciembre 2019)

Vinilos: https://www.comprarinilo.es/epages/62038750.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62038750/Products/vinilo-pro/SubProducts/vinilo-pro-001 (Diciembre 2019)

Transportador: https://www.comprarinilo.es/epages/62038750.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62038750/Products/cinta-transportadora-pvc/SubProducts/cinta-transportadora-pvc-0001 (Diciembre 2019)

Estructura y uniones: www.sinerges.com (Abril-Marzo 2020)

Paneles de tela: <https://www.clickprinting.es/impresiones-expositores-roll-up-baratos-publicidad> (Abril-Marzo 2020)

TRANSPORTE:

Normativa transporte Madrid: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Madrid-Central-Zona-de-Bajas-Emisiones/Criterios-de-acceso/Criterios-de-Acceso-y-Autorizaciones/?vgnextfmt=default&vgnextoid=b22fda4581f64610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnextchannel=cdfd96d2742f6610VgnVCM1000001d4a900aRCRD#faq11> (Enero 2019)

“Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización” realizado por el Ministerio para la Transición Ecológica: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf

Iveco Eurocargo Tector 7: Catálogo Publicación M104488: <https://www.iveco.com/spain/collections/catalogues/Documents/tutti%20prodotti/Eurocargo.pdf>